

БІОТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КЛАРІЄВОГО СОМА В УЗВ

С. В. Кононцев

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Україна, м. Київ
e-mail: akula13@ukr.net

*Метою роботи є дослідження особливостей формування забрудненої води в установках із замкнутим водозабезпеченням (УЗВ) для вирощування кларієвого сома (*Clarias gariepinus*, Burchell 1820) та розробка ефективної біотехнології відновлення якості води для можливості її повторного використання. Недоліки класичної технології очищення води від розчинених сполук нітрогену шляхом нітрифікації із наступною денітрифікацією призводять до суттєвого уповільнення темпів росту риби внаслідок неналежного очищення води та зростання собівартості вирощеної продукції. На основі аналізу концентрацій забруднень господарства з вирощування сомових, що працює за принципом УЗВ, визначено характерні особливості формування забрудненої води та причини низької ефективності роботи споруд механічного та біологічного очищення. Запропоновано біотехнологію, що забезпечує ефективне видалення розчинених сполук нітрогену та фосфору за рахунок використання фітореактора із плаваючими водними рослинами. Обґрунтовано доцільність включення молюсків у процеси трансформації нерозчинених органічних сполук води УЗВ. Розроблено схему комплексного біологічного очищення циркуляційної води УЗВ з вирощування кларієвого сома.*

Ключові слова: очищення води, видалення нітрогену, УЗВ, біотехнологія

Вступ.

Кларієвий сом (*Clarias gariepinus*, Burchell 1820) як об'єкт промислового культивування в штучно створених екосистемах є достатньо популярним та поширеним у світовій аквакультурі. В Україні цей об'єкт рибництва є одним із найбільш динамічних, загальні обсяги вирощування даного виду щороку зростають у декілька разів. Порівняно з іншими видами риб кларієвий сом володіє найбільшими темпами росту, є невибагливим до умов утримання та легко адаптується до їх зміни, добре споживає будь-які корми. Саме ці особливості роблять кларіаса одним із найбільш доступних об'єктів індустріального рибництва. Як теплолюбний вид, що походить з Африки, кларієвий сом інтенсивно харчується та набирає вагу при 24-29°C, тому для його вирощування необхідно використовувати спеціально розроблені штучні водні екосистеми - установки із замкнутим циклом водозабезпечення (УЗВ). Окрім зазначеного температурного режиму, при вирощуванні сомів, головними запоруками для отримання належних темпів росту є підтримка в допустимому діапазоні основних показників води та забезпечення необхідної кількості кормів. У разі, якщо якість води у басейнах із рибами не відповідає певним нормам, ні оптимальний температурний режим, ні годівля якісними кормами не забезпечать притаманних даному виду темпів росту.

Аналіз даних таблиці 1 дозволяє визначити основні забруднення, які необхідно вилучити із води для можливості її повторного використання, адже умови формуванні забрудненої води у більшості рибницьких господарств такого типу незалежно від об'єкта вирощування залишаються незмінними.

Технологія вирощування кларієвого сома в УЗВ ідентична до технологій вирощування інших видів риби у таких системах [2]. Характерною відмінністю є дещо більша кількість відокремлених технологічних етапів, які мають бути забезпечені басейнами відповідного типу. Потреба у періодичному сортуванні та розсаджуванні різних за розміром особин пов'язана із потенційними високими втратами молоді внаслідок канібалізму. До того ж, на різних етапах вирощування використовують спеціальні програми годівлі, розроблені саме під конкретну розмірно-вагову групу. В цілому, процес вирощування товарної продукції становить 6 місяців, а для забезпечення ефективного використання наявних площ та обладнання в УЗВ практикують паралельне вирощування 3-6 різних вікових груп із ротаційною системою обловів. Даний крок, обґрунтований економічною доцільністю, призводить до суттєвого зниження добових та річних коливань концентрацій забруднень та об'ємів забрудненої води, яку необхідно очистити перед повторним використанням.

Таблиця 1. Вимоги до якості води при вирощуванні риби в УЗВ [1]

Показник	Одиниці виміру	Допустимий діапазон	Критичний рівень
Завислі речовини	мг/дм ³	25	>100 (300)
БСК ₅	мг/дм ³	5-20	>20
ХСК	мг/дм ³	25-100	>100
pH	-	6,5-7,5	< 6,2 та > 8,0
Амоній (NH ₄ ⁺)	мг/дм ³	0-2,5 (залежно від pH)	> 2,5
Аміак (NH ₃)	мг/дм ³	<0,01 (залежно від pH)	> 0,025
Нітрит (NO ₂ ⁻)	мг/дм ³	0-0,5	> 0,5 (2)
Нітрат (NO ₃ ⁻)	мг/дм ³	100-200 (90)	> 300 (90)
Фосфор (PO ₄ ³⁻)	мг/дм ³	1-20	

Аналіз останніх досліджень та публікацій за даною темою.

У більшості європейських країн при вирощуванні кларієвого сома в УЗВ використовують корми найвищої кондиції якості, з твердими гранулами та мінімальною кількістю пилоподібних часток. Такі високі вимоги до якості кормів пов'язані із тим, що високе навантаження за органічною речовиною на споруди біологічного очищення змушує розбавляти воду перед подачею на біофільтри, встановлювати додаткові секції біофільтрів для доочищення води. Саме при вирощуванні сомових в УЗВ особливо гостро проявляється проблема ненадійної роботи біотехнології, де видалення основних розчинених у воді забруднень – сполук нітрогену та фосфору забезпечується шляхом нітрифікації із наступною денітрифікацією. Причини незадовільної роботи біофільтрів, що виконують роль нітрифікаторів, досліджені достатньо детально [3-6]. Частина з них пов'язана з конкурентними стосунками між гетеротрофними бактеріями та нітрифікуючою мікрофлорою, що має автотрофний тип живлення. Навіть при порівняно невисоких концентраціях органічних сполук (БСК₅>20 мг/дм³) перші здатні швидко витіснити останніх за доволі короткий період [7]. Недостатньо ефективною виявляється також робота споруд для денітрифікації [8], забезпечення процесів денітрифікації супроводжується вводом у воду метанолу, який є отруйним для риби, отже – створюється небезпека для господарства при збої у роботі такого біореактора [8,9]. Також небезпечними для риби є такі продукти метаболізму анаеробної мікрофлори денітрифікатора як метан, сірководень. Досліджені у роботах багатьох науковців проблеми протікання нітрифікації та денітрифікації в умовах УЗВ змушували до пошуку нового апаратного оформлення, спроб залучати до трансформації

сполук нітрогену інші групи нітробактерій. Задовільні результати з вилучення даного забруднення досягались лише на фоні суттєвого зростання витрат на обробку води (введення додаткових реагентів, використання спеціальних субстратів).

Необхідність у підвищенні ефективності затримки та вилучення із циркуляційної води нерозчинених часток у деякій мірі може вирішуватись шляхом додавання у комбікорм спеціальних в'язучих компонентів, завдяки яким фекалії риб стають більш щільними, довго не розпадаються у воді на дрібні сегменти [10,11]. З огляду на значну частку у собівартості продукції УЗВ саме вартості кормів (40-70%), ні використання кормів провідних європейських виробників, ні спеціальні добавки найближчим часом в Україні будуть економічно недоцільними. Тому при вирощуванні риб у замкнутих системах життєзабезпечення необхідно впроваджувати таку біотехнологію, яка паралельно з ефективністю очищення води характеризувалась невисокими поточними витратами. Іншими словами, використання менш якісних кормів має бути зрівноважене адекватною потужністю споруд з очищення води, але при цьому вартість водоочищення не має суттєво збільшитись у собівартості виробленої продукції.

Реалізація класичної технології очищення циркуляційної води УЗВ в Україні при вирощуванні кларієвого сома двома основними проблемними аспектами є висока концентрація нерозчинених домішок у воді та низька ефективність роботи нітрифікаторів і денітрифікаторів, яка частково пов'язана із першим. Альтернативні способи відновлення якості води біологічними методами мають не тільки забезпечити більш ефективне вилучення розчинених сполук нітрогену й фосфору, а й трансформувати нерозчинені органічні домішки, концентрація яких виявляється значно вищою, ніж у забрудненій воді європейських УЗВ. Тому основною метою даної роботи є наукове обґрунтування та розробка біотехнології відновлення якості циркуляційної води, що забезпечать ефективне вилучення сполук нітрогену та інших органічних забруднень. Для досягнення даної мети було вирішено наступні завдання: досліджено концентрації забруднень у циркуляційній воді сомового господарства; визначено основні причини низької ефективності споруд біологічного очищення води; визначено альтернативні методи біологічного очищення забрудненої води та розроблено технологічну схему комплексної біотехнології відновлення якості води УЗВ з вирощування кларієвого сома.

Результати досліджень.

Підвищені концентрації нерозчинених органічних сполук у забрудненій воді сомових господарств пояснюються порівняно високими щільностями посадки риб на одиницю об'єму басейнів, особливостями метаболізму даного виду риб та якістю кормів. Оскільки кларієвий сом характеризується високими темпами росту, добова норма кормів для даного виду є значно більшою, ніж для інших об'єктів УЗВ. У більшості європейських країн при вирощуванні кларієвого сома в замкнутих системах використовують корми найвищої кондиції якості, - з твердими гранулами та мінімальною кількістю пилоподібних часток. З метою зниження собівартості продукції вітчизняних господарств виявляється доцільним згодовувати більш дешевий корм із нижчою стійкістю до руйнування у воді, тому пропорційно зростає й кількість органічних сполук, що надходять у воду. Підвищена щільність посадки ($150-350 \text{ кг/м}^3$) дозволяє більш ефективно використовувати наявні площі, підвищувати виробничу потужність господарства. В таких умовах вода забруднюється дуже швидко і високі концентрації завислих речовин у воді басейнів стають фактично фоновими. Необхідно зазначити, що кларій, як і більшість представників сомоподібних, достатньо добре почувається у каламутній воді. Водночас, при високих концентраціях завислих речовин у воді басейнів можна спостерігати швидке налипання часточок до стінок споруд. Переходячи у розчинену форму, вони суттєво підвищують концентрації амонійного нітрогену та фосфатів, БСК та ХСК. Тому організація водообміну у басейнах із сомовими має забезпечити максимально повне відведення нерозчинених домішок, що забезпечується донними водозливами. У подальшому вони затримуються на фільтрах різних конструкцій, найбільш

популярними в практиці УЗВ є барабанні фільтри з розміром вічка від 20 до 100 мікрон. Фільтрувальна тканина із розміром вічка у 20 мікрон дозволяє видаляти 50-70% нерозчинених домішок забрудненої води УЗВ, але через наявність рослинних жирів у залишках кормів та особливості фізичних характеристик фекалій риб ефективність роботи барабанних фільтрів знижується. Тому цілком обґрунтованим у випадку очищення води сомових господарств є використання фільтрувальних сіток з розміром вічка 80-100 мкм, що забезпечить стабільну роботу фільтрувальної установки. Ефективність очищення за нерозчиненими домішками у такому випадку знизиться до 25-40%, пропорційно зросте й навантаження на споруди біологічного очищення. Нажаль, в умовах сьогодення це вимушене технологічне рішення виявляється найбільш раціональним, адже використання більш якісних кормів суттєво знижує рентабельність такого виробництва. Водночас, швидкі темпи росту молоді сома при годівлі згідно технологічного регламенту можна забезпечити лише за умови підтримання належної якості води, особливо це стосується вмісту нітритів та амонійного нітрогену. Попри те, що за вказаними даними критичне значення за вмістом амонійного нітрогену становить $2,5 \text{ мг/дм}^3$, у досліджуваному господарстві молодь сома зростала у воді із вмістом амонію в межах $5-8 \text{ мг/дм}^3$ (табл.2). При цьому вміст завислих речовин становив $150-250 \text{ мг/дм}^3$. Через невисоку очисну потужність зрошувального біофільтра за нітрогеном такі високі концентрації амонію були практично незмінними, а основна частка завислих речовин формувалась безпосередньо у басейні внаслідок рясної годівлі кормами із високим вмістом пилоподібних часток та незначною міцністю гранул. Для забезпечення задовільних показників якості води за основними лімітуючими показниками (сполуки нітрогену та фосфору) у досліджуваному господарстві доводилось зменшувати частку води, що використовується повторно, з 90-95% до 75-80%. Таким чином, підживлювальна вода частково розбавляла недостатньо очищену воду циркуляційного контуру УЗВ. Загалом, темпи росту риб були порівняно повільними, після 6 місяців вирощування вага товарної продукції становила 400-650 г, тоді як провідні господарства з вирощування кларієвого сома декларують отримання живої ваги від 800 до 1000 г в межах вказаного терміну вирощування. Попри те, що таке технологічне рішення не чинило негативної дії на навколишнє середовище (скидна вода не містила токсичних речовин та зливалась у штучно створену водойму на території господарства), воно негативно відображалось на показниках економічної діяльності, - адже для закачування води з підземного водоносного горизонту використовувалась електроенергія, також перед подачею у басейни воду необхідно було підігрівати.

Таблиця 2. Концентрації забруднень води господарства з вирощування кларієвого сома

Показник	Од. виміру	На виході з басейнів	Після механічного фільтра	Після біофільтра*
Завислі речовини	мг/дм^3	250-350	40-35	18-20
BCK_5	мг/дм^3	25-45	25-45	15-25
Амоній (NH_4^+)	мг/дм^3	8-32	5-30	5-12
Нітрит (NO_2^-)	мг/дм^3	0,1-0,7	0,1-0,7	0,1-0,3
Нітрат (NO_3^-)	мг/дм^3	40-65	40-65	30-70

* - у блоці з відстійником.

Розроблена нами біотехнологія відновлення якості води УЗВ (рис.1) передбачає використання різних груп гідробіонтів, які більш ефективно виловлюють основні забруднення та краще пристосовані до культивування у спеціально розроблених спорудах. Так, у якості основного очисного агента з видалення розчинених сполук нітрогену та фосфору можна використовувати плаваючі водні рослини: ряску малу (*Lemna minor* L.) та вольфію (*Wolffia arrhiza*). Включення фітореактора у блок очищення води дозволяє на 90-99% знижувати

концентрації розчинених сполук нітрогену та фосфатів при часі контакту води із рослинами в межах 30-60 хвилин. Експериментальні дослідження підтвердили високу ефективність асиміляції сполук нітрогену та фосфору водними рослинами.

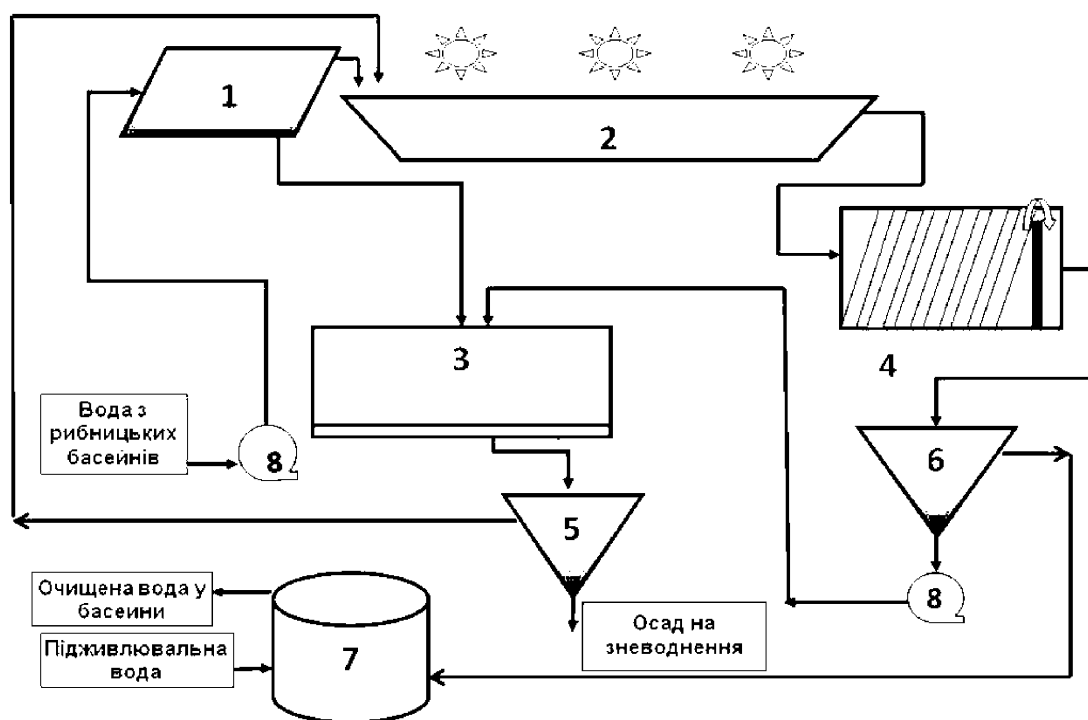


Рис. 1. Схема комплексного очищення циркуляційної води УЗВ з вирощування кларієвого сома: 1 - блок механічного очищення; 2 - фітореактор з водними рослинами; 3 - біофільтр; 4 - реактор з носієм типу «Віа»; 5,6 - відстійник; 7 - блок терморегуляції та аерації; 8 - насос.

На відміну від утворених в результаті поетапної нітрифікації та денітрифікації осадів, що потребують утилізації, вирощену у фітореакторі ряску можна згодовувати практично усім віковим групам риб. Отже, цей технологічний крок дозволяє по суті трансформувати відходи виробництва (залишки кормів та фекалії риб) у виробничу сировину (білок рослин) і тим самим забезпечити максимально ефективне використання кормів. Позитивний вплив рослинних кормів на темпи росту риб при вирощуванні риб в УЗВ є беззаперечним, залишається лише визначити який додатковий приріст може дати згодовування ряски окремим розмірно-ваговим категоріям риб. До того ж, рослини, залучені до процесів очищення циркуляційної води УЗВ, суттєво покращують її основні фізико-хімічні та органолептичні показники, чого не можна сказати про бактеріальну мікрофлору. Таким чином, можна обґрунтовано очікувати і зниження витрат на дезінфекцію, утилізацію приросту нітрогента трансформуючої мікрофлори. Оскільки розчинені сполуки нітрогену та фосфору будуть асимільовані у фітореакторі, задачею біофільтра (3) буде не забезпечення процесів нітрифікації завдяки вузькій групі нітробактерій, а трансформація та часткова мінералізація органічних сполук, що надходять із фітореактора (2) - дрібнодисперсні завислі речовини та біореактора з волокнистим носієм (4) - продукти метаболізму ракоподібних та моллюсків, частково мінералізована органічна речовина. У такому випадку в біофільтрі можуть розвиватись організми різних трофічних рівнів, що в цілому суттєво збільшує очисну потужність споруди. Дане технологічне рішення дозволяє знизити кількість утворених у процесі очищення осадів в 3-5 разів, підвищити ступінь їх мінералізації та забезпечити часткову економію на кормах.

Висновки.

Причиною підвищених концентрацій нерозчинених домішок та розчинених сполук нітрогену у воді басейнів для вирощування кларієвого сома є здебільшого використання недостатньо якісних кормів. Оскільки ефективність роботи механічних фільтрів за таких умов суттєво знижується, можна очікувати зростання навантаження на споруди біологічного очищення циркуляційної води. Як наслідок, у біофільтрах, де має протікати нітрифікація, спостерігається швидке витіснення нітробактерій гетеротрофною мікрофлорою та зупинка процесів трансформації амонійного нітрогену у нітрати. Таким чином, характерні проблеми для блоку біологічного очищення води із двома біофільтрами (нітрифікатор та денітрифікатор), пов'язані із нестабільною роботою та низькою ефективністю вилучення сполук нітрогену, проявляються більш гостро та створюють небезпеку отруєння риб внаслідок зростання концентрації нітритів, надходження у басейни сірководню та метану. Для забезпечення очищення циркуляційної води до допустимих параметрів необхідно включити у процеси біологічного очищення організми, що здатні більш ефективно забезпечити трансформацію та вилучення розчинених сполук нітрогену – вищі водні рослини. Також, враховуючи високе навантаження за завислими речовинами на очисні споруди УЗВ, у блок біологічного очищення доцільно включити біореактор із волокнистими інертними носіями типу «Вія», куди поселяють моллюсків (фізи або катушки). Їх роль у процесах відновлення якості води виявляється також доволі важливою – споживаючи сорбовану на носіїв органічну речовину, вони її частково мінералізують, а також укрупнюють. Відповідно, вилучити фекалії моллюсків із циркуляційного кола не становить проблем, а їх приріст також можна ефективно утилізувати як поживний корм для молоді риб. Таким чином, реалізація запропонованої екобіотехнології при відновленні якості циркуляційної води рибницького господарства дозволить у повній мірі використати енергетичний потенціал комбікормів та суттєво знизити витрати на очищення циркуляційної води.

БИОТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КЛАРИЕВОГО СОМА В УЗВ

С. В. Кононцев

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», Украина, г. Киев
e-mail: akula13@ukr.net

*Целью данной работы является исследование особенностей формирования загрязненной воды в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) для выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*, Burchell 1820) и разработка эффективной биотехнологии восстановления качества воды для возможности её повторного использования. Недостатки классической технологии очистки воды от растворённых соединений азота путём нитрификации с последующей денитрификацией приводят к существенному замедлению темпов роста рыб и повышению себестоимости выращенной продукции. На основе анализа концентраций загрязнений сомового хозяйства, работающего по принципу УЗВ, определены характерные особенности формирования загрязненной воды и причины низкой эффективности работы сооружений механической и биологической очистки. Предложено биотехнологию, которая обеспечивает эффективное удаление растворённых соединений азота и фосфора благодаря использованию фитореактора с плавающими водными растениями. Обосновано целесообразность привлечения моллюсков в процессы трансформации нерастворённых органических соединений воды УЗВ.*

Разработано схему биологической очистки циркуляционной воды УЗВ по выращиванию клариевого сома.

Ключевые слова: очистка воды, удаление азота, УЗВ, биотехнология

WATER TREATMENT BIOTECHNOLOGY FOR BREEDING OF SHARPTOOTH CATFISH IN THE RAS

S. V. Konontcev

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Ukraine, Kiev

e-mail: akula13@ukr.net

*The aim of this work is to study the features of contaminated water formation in the recirculation aquaculture systems (RAS) plants for breeding of sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1820) and to develop the effective biotechnology for water quality recovering to allow water reuse. Disadvantages of classical water treatment technology from dissolved nitrogen compounds by using the nitrification with following denitrification lead to significant slowdown in the fish growth and increase the cost of products. On the basis of the analysis of pollutants concentrations in the catfish farm, which is working on the RAS-principle, the features of contaminated water formation and the reasons of low efficiency of facilities for mechanical and biological treatment were determined. The biotechnology that provides effective removal of dissolved nitrogen and phosphorus compounds by using phytoreactor with floating aquatic plants was proposed. Expediency of using molluscs in the processes of transformation of undissolved organic compounds in RAS water was proved. A comprehensive scheme of biological water treatment in RAS-plants for breeding of catfish was developed.*

Keywords: water treatment, nitrogen removal, RAS, biotechnology

Список літератури

1. Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems /Jacob Bregnballe // FAO and EUROFISH. — 2015. — 97 p.
2. Bovendeur J. Design and performance of a recirculation system for high-density culture of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) / J. Bovendeur, E. Eding, A.M. Henken // Aquaculture. — 1987. — 63. — P. 329—353.
3. Schneider O. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems / O. Schneider, V. Sereti, E.H. Eding, J.A.J. Verreth // Aquac Eng. — 2005. — 32. — p. 379—401.
4. Villaverde S. Nitrifying biofilm acclimation to free ammonia in submerged biofilters, Start-up influence / S. Villaverde, F. Fdz-Polanco, P.A. García // Water Res. — 2000. — 34. — P. 602—610.
5. Rijn J. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification / J.Rijn, G.Rivera // Aquacult. Eng. — 1990. — №9. — P. 217—234.
6. Tsukuda S. Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters / Scott Tsukuda, Laura Christianson, Alex Kolb, Keiko Saito, Steven Summerfelt // Aquacultural Engineering. — 2015. — Volume 64. — P. 49—59.

7. Michaud L. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters / L. Michaud, J.P. Blancheton, V. Bruni, R. Piedrahita // *Aquac. Eng.* — 2006. — 34. — P. 224—233.
8. Rijn J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // *Aquacultural Engineering.* — 2006. — 34. — P. 364—376.
9. Lee, P.G. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem / P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky, P.E. Turk, H. Ying, J.L. Whitson // *Aquacult. Eng.* — 23. — 2000. — P. 37—59.
10. Lochmann R. Multi-batch catfish production and economic analysis using alternative (low-cost) diets with corn gluten feed and traditional diets with meat and bone meal / Rebecca Lochmann, Carole Engle, Ganesh Kumar, Menghe H. Li, Jimmy L. Avery, Brian G. Bosworth, Craig S. Tucker // *Aquaculture.* — 2012. — 34. — P. 366—367.
11. Meriac A. Dietary carbohydrate composition can change waste production and biofilter load in recirculating aquaculture systems / Andre Meriac, Ep H. Eding, Johan Schrama, Andries Kamstra, Johan A. Jerreth // *Aquaculture.* — 2014. — 254. — P. 420—421.